

# 宮城県環境放射線監視センター一年報

第 4 卷

平成 30 年

ANNUAL REPORT

OF

MIYAGI PREFECTURE ENVIRONMENTAL RADIATION

MONITORING CENTER

VOL.4 (2018)

宮城県環境放射線監視センター

## はじめに

当センターは、平成27年4月に宮城県原子力センターから宮城県環境放射線監視センターに名称を変え、場所を女川町内から仙台市宮城野区幸町に移し、管轄地域も女川原子力発電所周辺地域から宮城県内全域に範囲を広げ、環境放射線及び環境放射能の監視測定を開始し、早くも5年が経過しようとしています。

同発電所周辺地域の監視測定については、東日本大震災の津波により全壊したモニタリングステーション4局を平成31年3月末までに再建し、震災前と同じく県7局による監視体制に復旧させることができました。

また、環境試料の採取測定は、震災の影響で暫定的に場所を変更して実施してきましたが、その後の農作物の耕作及び海産物の養殖再開等を受け、測定基本計画等を改正し、平成31年4月から現状に合わせた形で採取測定を実施しております。

一方、女川原子力発電所1号機は、平成30年12月21日付けで運転終了し、今後、廃炉に向けた手続きを経て、施設の解体等が行われることとなります。

平成25年12月に申請された同2号機の新規制基準適合性審査については、原子力規制委員会による審査が終了し、令和2年2月26日付けで原子炉設置変更が許可されております。

このたび、平成30年度に実施した当センターの業務の成果を取りまとめ、「宮城県環境放射線監視センター年報 第4巻」として発刊しましたので、広く県民及び関係者の方々に御高覧をいただき、参考にしていただければ幸いです。

令和2年3月

宮城県環境放射線監視センター  
所長 安藤孝志



# 目 次

## はじめに

## 第4巻(2018)

I 宮城県環境放射線監視センター概要	1
II 論文	
1 宮城県における福島第一原発事故由来放射性セシウムの降下量変動と 大気中濃度そのほかの環境要因との関連	7
石川陽一、小笠原一孝、畠山紀子、高群富貴、新井康史、高橋正人、安藤孝志	
III 技術報告	
1 環境放射能調査における新たな指標海産物の検討	15
小笠原一孝、高群富貴、畠山紀子、石川陽一、高橋正人、安藤孝志	
2 モニタリングステーションにおける局舎による空間ガンマ線遮へい	21
木村幸由、木村昭裕、伊藤節男、石川陽一、高橋正人、安藤孝志	
3 空間ガンマ線量率の方向別寄与	26
木村幸由	
4 走行サーベイ用 CsI(Tl)線量計の遮蔽係数の測定	30
木村昭裕、木村幸由、伊藤節男、石川陽一、高橋正人、安藤孝志	
IV 学会発表等の要旨	34
V 資料	
資料1 宮城県における環境放射能核種分析結果	35
(1) Ge半導体検出器による分析結果	38
(2) Sr-90分析結果	50
(3) H-3分析結果	50
(4) 原子力規制庁委託調査結果	51
資料2 環境試料の放射化学分析結果	55
資料3 大気モニタ及びヨウ素サンプル	61
資料4 モニタリングステーションの再建	65
資料5 四半期降下物採取用水盤	68
資料6 積算線量測定用ガラス線量計収納箱	69

# C o n t e n t s

## Preface

<b>I Outline of Environmental Radioactivity Research Institute of Miyagi</b> .....	1
--	---

## II Paper

<b>1 Temporal Variation of Fukushima-derived Radiocesium Deposition in Miyagi Prefecture and its relation to the Air Concentrations and other Environmental Factors</b> ....	7
<i>Yoichi Ishikawa, Kazutaka Ogasawara, Noriko Hatakeyama, Tomitaka Takamure, Yasufumi Arai, Masato Takahashi and Takashi Ando</i>	

## III Technical Papers

<b>1 A Study on Marine Organisms as Indicators of Radioactive Pollution in Environmental Monitoring</b> .....	15
<i>Kazutaka Ogasawara, Tomitaka Takamure, Noriko Hatakeyama, Yoichi Ishikawa, Masato Takahashi and Takashi Ando</i>	
<b>2 Gamma-ray Shielding by the Buildings of Monitoring Stations</b> .....	21
<i>Yukiyoshi Kimura, Akihiro Kimura, Setsuo Ito, Yoichi Ishikawa, Masato Takahashi and Takashi Ando</i>	
<b>3 Directional contribution of Environmental gamma-ray dose rate</b> .....	26
<i>Yukiyoshi Kimura</i>	
<b>4 Measurement of Shielding Factors of a CsI(Tl) Scintillation Dosimeter for Vehicle-Borne Survey</b> .....	30
<i>Akihiro Kimura, Yukiyoshi Kimura, Setsuo Ito, Yoichi Ishikawa, Masato Takahashi and Takashi Ando</i>	

<b>IV Abstracts</b> .....	34
---------------------------	----

## V Data

<b>1 Results of Radionuclide Analysis of Environmental Samples</b> .....	35
<b>(1) Results of Gamma-ray Spectrometry with Ge-detectors.</b> .....	38
<b>(2) Results of Sr-90 Analysis</b> .....	50
<b>(3) Results of H-3 Analysis</b> .....	50
<b>(4) Fallout Survey Data in Miyagi Prefecture</b> .....	51
<b>2 Results of Radiochemical Analysis of Environmental Samples</b> .....	55
<b>3 Atmospheric Monitors and Iodine Samplers</b> .....	61
<b>4 Reconstruction of the Monitoring Stations</b> .....	65
<b>5 Vessels for Quarterly Fallout Sampling</b> .....	68
<b>6 Storage Boxes for Radiophotoluminescent Glass Dosimeters for Measuring Integral Dose</b> .....	69

# I 宮城県環境放射線監視センター概要

## 1 所在地

宮城県仙台市宮城野区幸町四丁目7-1-2

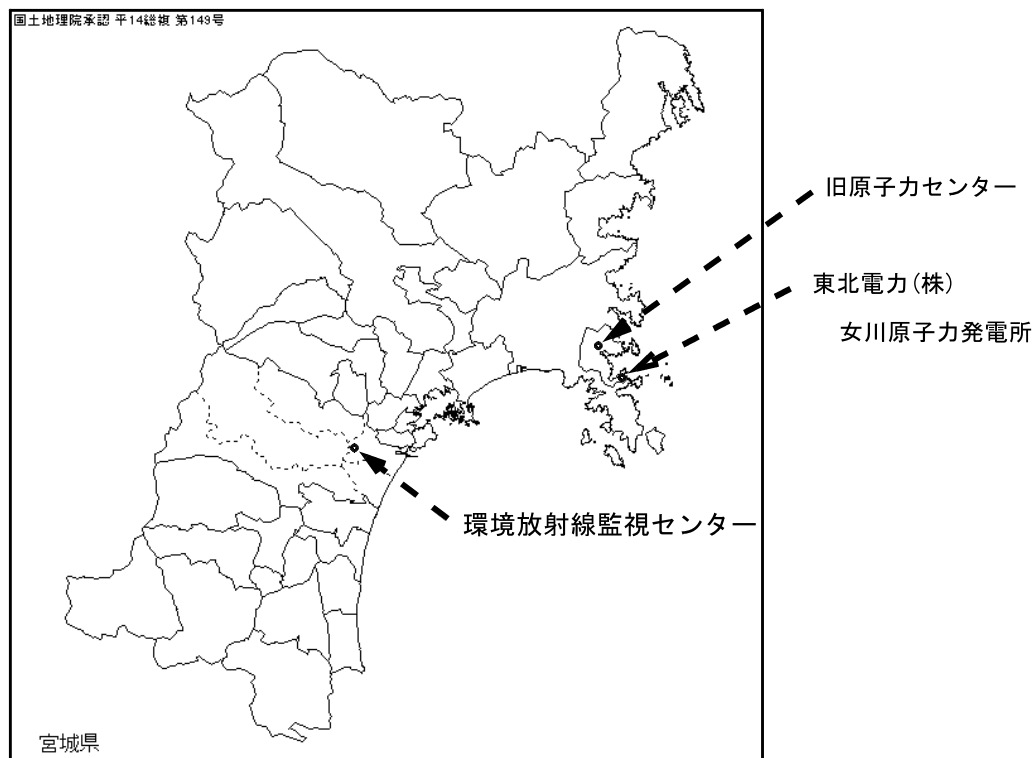


図-1 位置図

## 2 組織及び名簿（平成30年4月1日現在）

職名（担当）		氏 名	配属年月日
所 長		安 藤 孝 志	H 29. 4. 1
技術副参事兼次長（総括担当兼班長）		高 橋 正 人	H 28. 4. 1
庶務担当	次長（庶務担当）	高 橋 吉 春	H 30. 4. 1
	次 長	照 井 幹 雄	H 30. 4. 1
監視測定班	副主任研究員	木 村 昭 裕	H 25. 4. 1
	研 究 員	伊 藤 節 男	H 26. 4. 1
	研 究 員	畠 山 紀 子	H 26. 4. 1
	研 究 員	石 幡 茜	H 28. 4. 1
	研 究 員	木 村 幸 由	H 30. 4. 1
	技 師	小笠原 一 孝	H 29. 4. 1
	環境放射線・放射能測定評価 技術指導員	石 川 陽 一	H 24. 4. 1

### 3 決算（平成30年度歳入歳出決算書）

(1) 歳入

単位：円（令和元年5月31日現在）

科 目	決 算 額	摘 要
10 財産収入	1,500	
01 財産運用収入	1,500	
01 財産運用収入	1,500	電柱敷地等
14 諸収入	288	
06 雑入	288	
05 雑入	288	雇用保険返還金
合 計	1,788	

(2) 歳出

単位：円（令和元年5月31日現在）

科 目	決 算 額	摘 要
(通常予算)		
02 総務費	191,306,427	
01 総務管理費	7,560	
02 人事管理費	7,560	
10 生活環境費	191,298,867	
07 環境放射能監視測定費	191,298,867	環境放射能監視測定事業
11 災害復旧費	32,659,200	
03 東日本大震災災害復旧費	32,659,200	
02 総務施設等災害復旧費	32,659,200	
合 計	223,965,627	

### 4 主要設備・機器（重要物品）

平成31年3月31日現在

区分	名称	メーカー・型式等	数量	取得年度	備考	
監視・測定用	1	環境放射線測定装置（線量率測定演算部）	日立アカメテック(株)・ACE-451	3台	H11	女川局, 小屋取局, 寄磯局撤去品
	2	ダスト・ヨウ素モニタ	日立アカメテック(株)・DMS-R41-21087	1台	H12	予備機
	3	電離箱式放射線監視装置	日立アカメテック(株)・RIC-388 他	3台	H12	女川局, 小屋取局, 寄磯局撤去品
	4	標準線量計	ポニー工業(株)・AE-1326 他	1台	H17	
	5	ダスト・ヨウ素サンプラー	応用光研工業(株)・S-2766	1台	H18	女川局
	6	蛍光ガラス線量計	AGCテクノグラス(株)・FGD-252	1台	H19	

区分	名称	メーカー・型式等	数量	取得年度	備考	
監視・測定用	7	可搬型モニタリングポスト	応用光研工業(株)・HND-304A 他	6台	H23	尾浦局, 渡波局, 塚浜局, 大原局, 鮎川局, 予備
	8	可搬型モニタリングポスト データ処理装置	応用光研工業(株)・FC-S21W 他	1式	H23	
	9	ポータブルゲルマニウム $\gamma$ 線核種分析装置	セイコー・イメージ・アントロジー(株)・ Trans-SPEC-DX-100T 他	1台	H23	
	10	広域モニタリング ステーション	富士電機(株)・アルミサ ンドイッチパネル 他	10式	H24	石巻稲井局, 雄勝局, 河南局, 河北局, 北上局, 鳴瀬局, 南郷局, 涌谷局, 津山局, 志津川局
	11	電離箱式検出器	富士電機(株)・NCE207K	10式	H24	
	12	自動液体濃縮装置	(株)星理科学器械・ マントルヒーター他	1式	H24	
	13	ゲルマニウム半導 体検出器ダストヨ ウ素モニタ	日立アロカメディカル(株)・DSM- R41-22843	1台	H26	寄磯局
				1台	H27	小屋取局
	14	低バックグラウン ドベータ線自動測 定装置	日立アロカメディカル(株)・LBC- 4202B	1台	H26	
	15	消臭・脱煙装置付 き電気炉	(株)東京技術研究所・TFF 80-C	2台	H26	
	16	消臭・脱煙装置	(株)東京技術研究所・VM-B	3台	H26	
	17	低線量率測定装置	ASM-1465	7台	H29	女川局, 小屋取局, 寄磯局, 再建4局
	18	電離箱式検出器	RIC-338	7台	H29	女川局, 小屋取局, 寄磯局, 再建4局
	19	電離箱式検出器収 納筐体	OVN-R41-23078	3台	H29	女川局, 小屋取局, 寄磯局
	20	電離箱式検出器収 納筐体	OVN-17	4台	H29	再建4局
	21	高線量率測定装置	ASE-1452	7台	H29	女川局, 小屋取局, 寄磯局, 再建4局
	22	$\gamma$ 線標準照射装置	ポニー工業(株)・PSR-102M S型	1台	H22	
	23	高純度ゲルマニウ ム半導体検出器	ORTEC(セイコー・イメージ・アントロジー (株))・GMX25P4-70-RB-B 他	1台	H23	電気冷却式, サン プルチェンジャー 付き
	24	Ge半導体検出器用 予備電気冷却装置	セイコー・イメージ・アントロジー(株)・ CFG-X-COOL-III-115	1台	H26	
	25	ICP発光分光分析 装置	サーモフィッシャーサイエンティフィック(株) ・iCAP7000シリーズ	1台	H26	



区分	名称	メーカー・型式等	数量	取得年度	備考	
監視・測定用	26	マイクロ波試料前処理装置	マイルストーンセネラル(株)・ETHOS UP	1台	H26	
	27	低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター	日立アロメテック(株)・LSC-LB 7	1台	H26	
	28	ハンドフットクロズモニター	日立アロメテック(株)・MBR-201H	1台	H26	
	29	ゲルマニウム半導体検出器用大型遮蔽体		1台	H29	
	30	半導体検出器(GEM型)	GEM25-70	1台	H29	
	31	検出器冷却用液体窒素凝縮装置	MOBIUS	1台	H29	
	32	オートサンプルチェンジャー付き鉛遮蔽体		1台	H29	
	33	解析用ソフトウェア	Gamma Station	1式	H29	
	34	検体採取車	トヨタハイエース, 2690cc	1台	H23	
	35	移動観測車	スバルフォレスター, 1990cc	1台	H23	NaI検出器(スペクトル解析可)搭載
	36	MS点検車	ホンダフリードスパイク, 1490cc	1台	H26	
	37	気象測器		3台	H30	女川局, 小屋取局, 寄磯局
	38	固定型モニタリングポストデータ処理装置及び収集装置	(株)日立製作所	1台	H30	放射能水準調査用
広報	1	可搬型モニタリングポスト	応用光研工業(株)・HND-304A 他	2台	H23	丸森局, 白石局,
	2	可搬型モニタリングポスト	応用光研工業(株)・HND-304A 他	1台	H23	山元局
その他	1	原子力防災用車輛	トヨタアルファードハイブリッド	1台	H24	
	2	大気モニタ	富士電機(株)	19台	H30	
	3	オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラ	富士電機(株)	5台	H30	

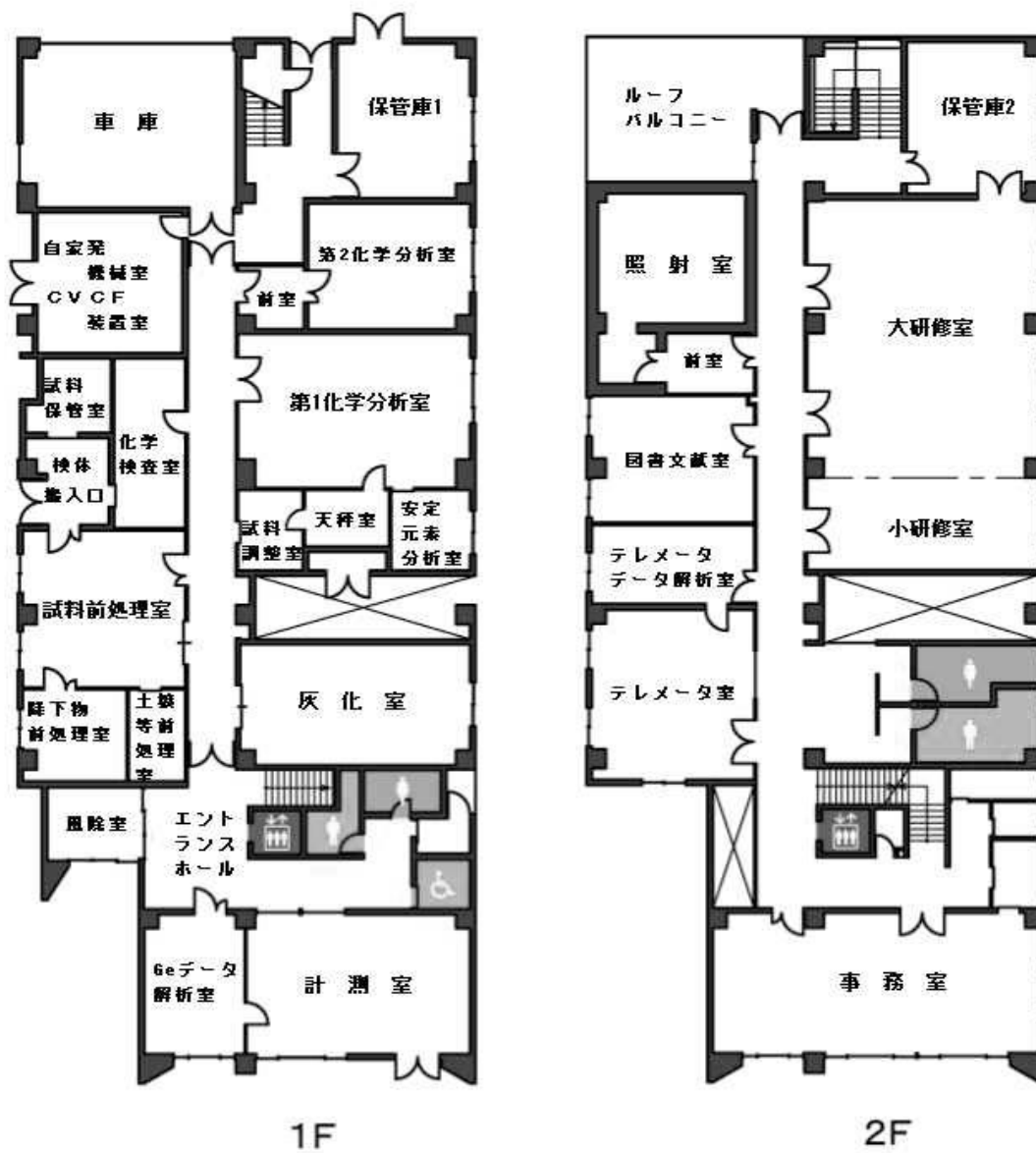
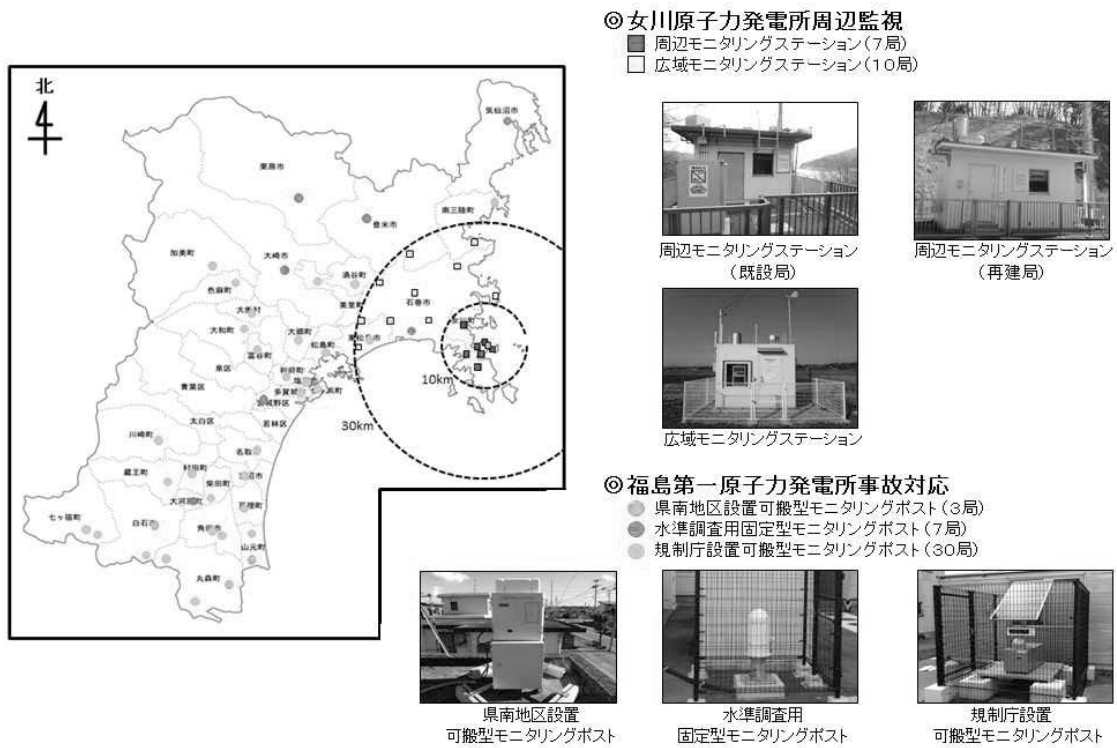


図-2 環境放射線監視センター配置図



図－3 放射線測定装置配置図

## II 論 文

# 宮城県における福島第一原発事故由来放射性セシウムの 降下量変動と大気中濃度そのほかの環境要因との関連

石川 陽一、小笠原一孝、畠山紀子\*、高群富貴\*\*、新井康史\*\*、高橋正人、安藤孝志

2011年の福島第一原子力発電所事故後、宮城県の仙台市、女川町及び石巻市において、定期的に<sup>137</sup>Csの降下量と大気中濃度の観測を行い、時間的変動や地域差、気象的条件や周辺環境との関連を調べた。都市部の仙台では、半都市部の女川に比べて2015年以降の<sup>137</sup>Cs月間降下量が時々多く(≦約5 Bq/m<sup>2</sup>)、蒸発残渣中濃度も高めであった(≦約0.7 Bq/g)。大気についても、仙台における2015年11月-2017年5月の週単位の測定において時々高い<sup>137</sup>Cs濃度が観測され(≦約0.026 mBq/m<sup>3</sup>)、その原因は都市域における乾燥時強風による再浮遊と考えられた。2017年6月-2018年3月の期間の大気中<sup>137</sup>Cs濃度は仙台(平均約0.005 mBq/m<sup>3</sup>)では概して女川(平均約0.002 mBq/m<sup>3</sup>)より高めで、かつ浮遊塵の単位重量当り平均濃度も高かった。仙台の方が女川よりも降下物蒸発残渣や大気浮遊塵の<sup>137</sup>Cs濃度が高めであった理由としては、緑地が少なく建築物や舗装面、道路が多いという都市特有の環境に起因するのではないかと推定された。5カ所の降下物観測地点中、建物屋上の地点では、ごく近傍からの局所的な<sup>137</sup>Cs再浮遊と考えられる現象も観測された。

## 1 はじめに

宮城県では、1981年から女川原子力発電所周辺で環境放射能モニタリングを行っている。環境試料のうち、降下物は気圏から地表への影響を直接的に測ることができるため重要である。宮城県は福島県の北に隣接しており、2011年の福島第一原子力発電所(FDNPP)事故によってかなりの放射能影響を受けた。仙台における事故由来の<sup>137</sup>Cs月間降下量は最大で約1万Bq/m<sup>2</sup>以上で[1, 2]、1986年のチェルノブイリ事故時の約100倍程度であった。地表が一旦汚染された場合、降下量測定値は地表付近からの放射性物質の再浮遊によって当分の間影響を受ける[3, 4]。再浮遊の程度は環境や気象条件によって左右されると考えられ[3]、モニタリング結果の評価のためには降下量の変動原因を明らかにしておくことが重要である。降下量の測定には、通常、水盤などを使って雨水と塵の両方(以下、降下物と称する)を採取する[5]。降下量測定に及ぼす再浮遊の原因について、FDNPP事故前には、国内の比較的広域のみでなく大陸からの土壌起源粒子に関する報告もみられた[6, 7]。一方、著者らはかつて、チェルノブイリ事故後、降下物測定地点のごく近傍、数十m程度の範囲内からの顕著な<sup>137</sup>Cs再浮遊現象を観測した[8, 9]。FDNPP事故後、多くの<sup>137</sup>Cs再浮遊に関する報告があるものの、そうした観点からの報告はみられない。

そこで本研究では、主に近傍からの<sup>137</sup>Csの再浮遊の観点から、宮城県内の複数の地点において<sup>137</sup>Cs降下量、降下物試料の蒸発残渣量及び大気中<sup>137</sup>Cs濃度を測定し、気象条件や環境条件などの関連を調べた。

## 2 方法

表1に試料の採取地点(a-e'、f-i)、環境条件及び試料の採取期間または時期を示す。図1に地点a-eの試料採取地点の配置を示す。地点aは都市部(仙台市内)の宮城県環境放射線監視センター(MPERMC)の前庭にあるが、当施設はFDNPP事故後の2015年に竣工したため事故由来の放射能影響をあまり受けていない。図2に地点a及びMPERMCビル屋上のf-iの詳細な地点を示す。地点fとgはビル1階屋上、hとiは2階屋上である。この周辺には林が少なくかつアスファルト舗装面が多く、事故前から建っているビル

\* 現在、宮城県仙台保健福祉事務所黒川支所、\*\* 現在、宮城県原子力安全対策課

(平坦屋根の建築物) も多い。地表やビル屋上には事故由来の放射性物質がある程度蓄積している可能性がある(後述)。図3には地点cとgの堆積物採取地点の写真を示す。一方、地点b(女川町)は半都市部のアスファルト舗装地表駐車場内にあり、図4に周辺数百mの範囲の環境条件がわかる地図を示す。

2011年以降、直径約0.8mの水盤などを用いて、地点aのほか、地点b、cと地点d、eの5カ所で降下物を採取した。降下物の採取間隔は、地点aとbで毎月、c-eでは四半期毎とした。2015年11月以降、ハイボリュームエアサンプラー(柴田HV-1000R型)とガラス繊維ろ紙(アドバンテック東洋GB-100R)にて1又は2週間毎(地点a)、または1ヶ月毎(地点b)に大気浮遊塵を採取した。降下物や浮遊塵と比較するため、a付近の地点(f-i)で排水口付近の堆積物、c付近で屋上堆積物、e地点の校庭の表面土壌も採取した。

表1 採取場所、環境条件、採取試料及び採取期間

場所	緯度 °N / 経度 °E	地域名	環境条件	採取試料 (期間、時期) *
a	38.27747 / 140.90609	仙台市	都市部内のMPERMC前庭芝生植栽 (2015年建設),	月間降下物 ('11年3月-'18年3月), 大気浮遊塵 ('15年11月-'18年4月)
b	38.43948 / 141.43295	女川町	半都市部内の舗装駐車場	月間降下物 ('11年10月-'18年3月), 大気浮遊塵 ('17年6月-'18年4月)
c	38.44849 / 141.48920	女川町 尾浦	田園地帯の、 <sup>137</sup> Cs含量が高い堆積物に富んだ閉鎖学校屋上	四半期間降下物 ('12年12月-'18年3月), 屋上堆積物 ('17年7月26日)
d	38.40171 / 141.37071	石巻市 渡波	田園地帯の舗装駐車場	四半期間降下物 ('13年3月-'18年3月)
e	38.33435 / 141.47516	石巻市 大原	粘土質土壌で舗装された校庭を有する学校のベランダ	四半期間降下物 ('12年12月-'18年3月)
e'	38.33430 / 141.47528	石巻市 大原	場所e'の前の校庭	校庭土壌 ('17年7月26日)
f-i	~38.2778 / ~140.9060	仙台市	場所aとほぼ同じ場所	屋上堆積物 (f: '18年10月29日, g-i: '19年2月12日)

\*試料採取の詳細と観測データは宮城県のウェブサイトにおいて閲覧可能である[2]。

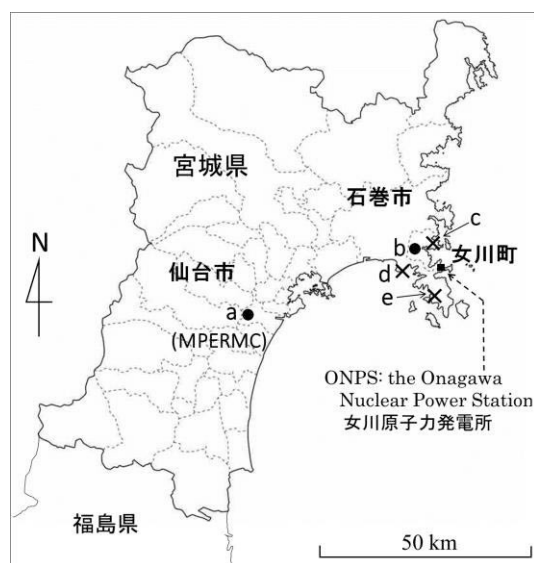


図1 試料採取地点(a-e)の配置図

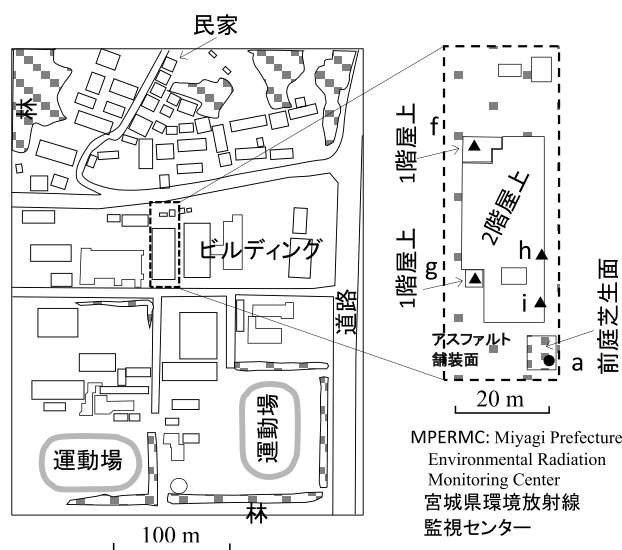


図2 都市部(仙台市)における採取地点a(MPERMC)周辺の環境条件及び地点(a, f-i)

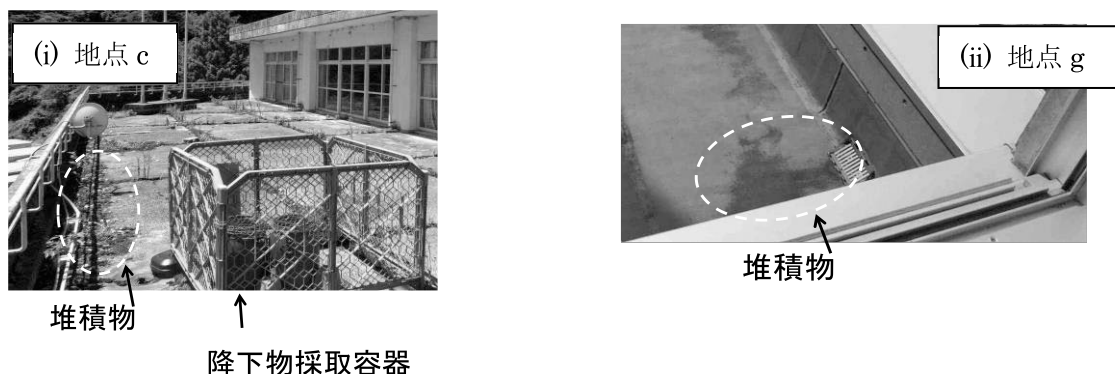


図3 建物屋上にある(i)地点cと(ii)地点g  
における堆積物採取場所の写真

降下物試料は蒸発濃縮後にU8容器(容量100 mL)に移し替えて乾燥したのち蒸発残渣の重量を測った。大気浮遊塵試料はろ紙ごとプレス成型してU8容器に充填した。2017年6月からは乾燥後に浮遊塵の正味重量も秤量した。堆積物と土壌試料は約110°Cで一夜乾燥後ゴミ類を除去し、U8容器に充填した。放射能測定はGe半導体検出器で行った。検出効率はアイソトープ協会製またはEckert & Ziegler社製の標準試料を用いて測定し、セイコー・イージーアンドジー社製の解析ソフトウェアでスペクトルを解析して放射能を算出した。

### 3 結果及び考察

#### 3.1 降下物

図5(A)は地点aとb、(B)は地点c-eにおける2011年以降の単位面積当たり $^{137}\text{Cs}$ 月間降下量の推移を示す。(B)は四半期間(約3カ月)のデータであるが、月間値と比較するため3で割って1カ月当りに換算した。図5においては最近の代表的な値に計数誤差も示した。2013年以降にはFDNPPから新たな放出が殆どないと考えられ、したがって時々高めの値を示す理由は周辺からの再浮遊の程度の違いによるためと考えられる。

2015年以降、地点aではbに比べて時々高めの値を示した。例えば2017年5月の $^{137}\text{Cs}$ の値( $3.25 \pm 0.06 \text{ Bq/m}^2/\text{月}$ )は地点bの値( $0.62 \pm 0.03$ )よりも明瞭に高かった。地点c-eのうち、dは田園地帯にある地上アスファルト舗装面での観測であるが、ほかの地点よりほぼ常に低めの傾向を示した。cとeでの値はしばしば高く、例えば地点cでは、2017年4-6月の $^{137}\text{Cs}$ の値( $7.2 \pm 0.1 \text{ Bq/m}^2/\text{月}$ )はほかの地点に比べて明瞭に高かった。

図5(C)と(D)は、それぞれ地点a、bと地点c-eにおける2015年以降の降下物の単位面積当たりの蒸発残渣量の推移を示す。地点bにおいて2017年までしばしば残渣量が多いのは、ここが女川町市街地に近く、2011年の東日本大震災の復興土木工事の影響と考えられる。図6に地点aとbの $^{137}\text{Cs}$ 降下量:残渣量の相関図を示すが、地点aにおいては降下量と残渣量の間にも明瞭な相関が認められ、かつ地点bに比べて勾配も大きい。c-eの残渣量にはあまり明確な傾向は認められず、地点と時期によってかなり変動した。

図5(E)と(F)は、残渣1g当たりの $^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度を示す。地点aでは地点bに比べて値が高めで、 $^{137}\text{Cs}$ 降下量が多かった2017年5月には残渣中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度( $0.72 \pm 0.01 \text{ Bq/g}$ )も顕著に高かった。また、残渣中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は、地点dに比べてcとeが高めで、例えば降下量が多かった2017年4-6月の地点cでは $^{137}\text{Cs}$ 濃度( $1.30 \pm 0.02 \text{ Bq/g}$ )も顕著に高かった。後述のように(3.4節)、これはcの採取地点付近の環境に原因があるためと考えられる。



図4 半都市部(女川町)における  
採取地点b周辺の環境条件

### 3. 2 大気浮遊塵

図7は地点a（仙台）における2015年11月以降の約1週間毎の大気浮遊塵中<sup>137</sup>Cs濃度の推移を示している。図に点線の丸で囲ったデータは目立って高い値を示す。図中に、最も高かった2016年6月1-8日の期間の気象条件（場所：仙台管区気象台）を示すが[10]、期間内に降水がなく、かつ強風（最大瞬間風速22 m/s）の日を含んでいた。ほかの高値の期間も同様であった。これらの現象は土井ら[11]が報告しているように、乾燥時に強風によって巻き上げられた<sup>137</sup>Cs含有土壌粒子の影響と考えられる。

図8(A)と(B)は、それぞれ地点aとbにおける2017年6月1日から2018年4月3日までの大気中<sup>137</sup>Cs濃度、大気中浮遊塵質量濃度及び浮遊塵中<sup>137</sup>Cs濃度の変動を示す。採取間隔は、地点aが約2週間毎、地点bが約1カ月毎である。大気中<sup>137</sup>Cs濃度は時期によってかなり変動し、また平均値は地点a(0.050 mBq/m<sup>3</sup>)の方がb(0.023 mBq/m<sup>3</sup>)よりも高かった。また、大気中<sup>137</sup>Cs濃度は気象条件によって大きく変動した。地点aでは2018年1月4-16日に顕著な増加が、逆に2017年8月1-15日には顕著な減少がみられた。前者の増加原因は図7と同様に乾燥時に強風があったため、また後者の減少原因は採取期間に雨が多く地表

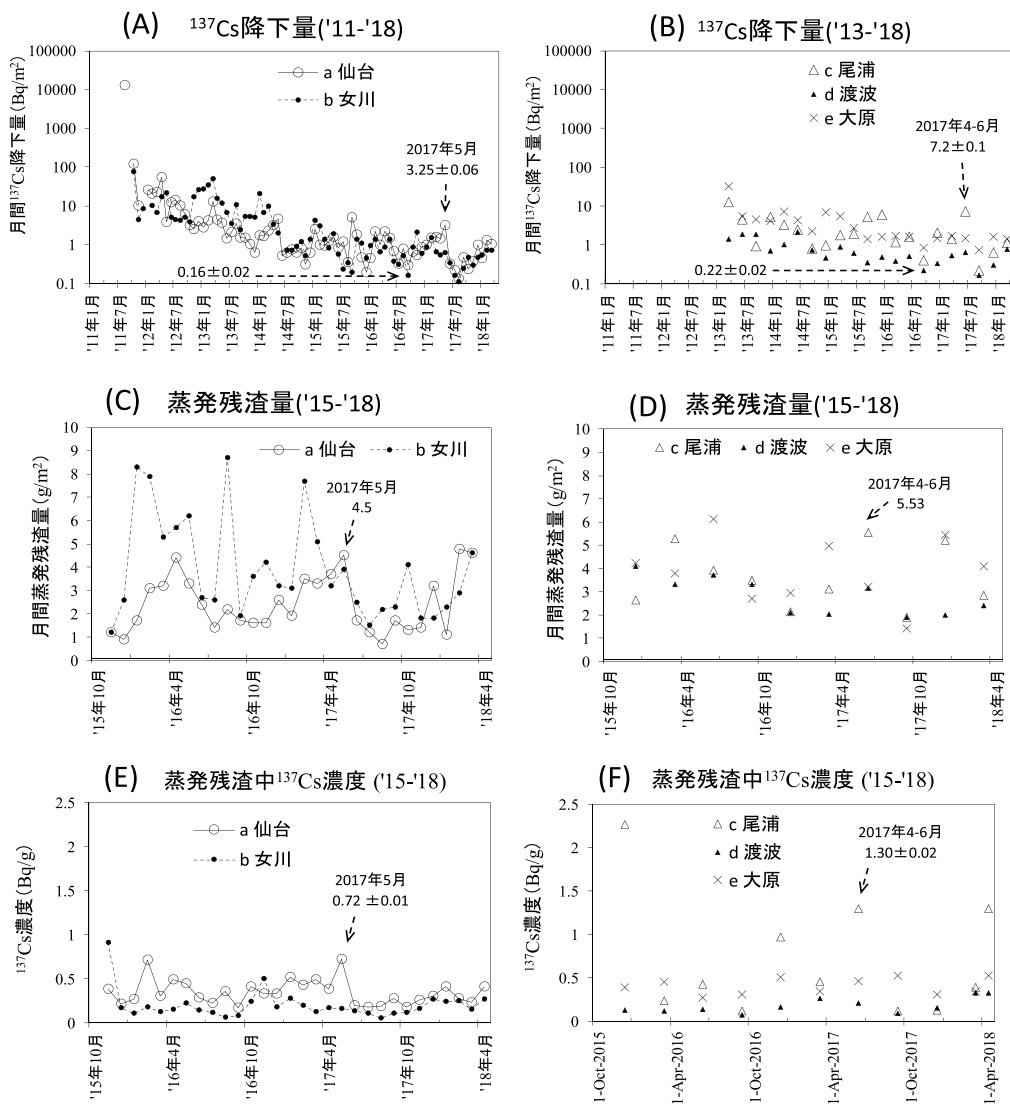


図5 2011年の福島第一原子力発電所事故後の月間<sup>137</sup>Cs降下量(A、B)、月間降下物試料の蒸発残渣量(C、D)、及び蒸発残渣中<sup>137</sup>Cs濃度(E、F)。採取場所の詳細を表1に示す。AとBには典型的な測定値に計数誤差を示す。BとDにおいては元の四半期の値を3で割ることにより月間値に換算した。



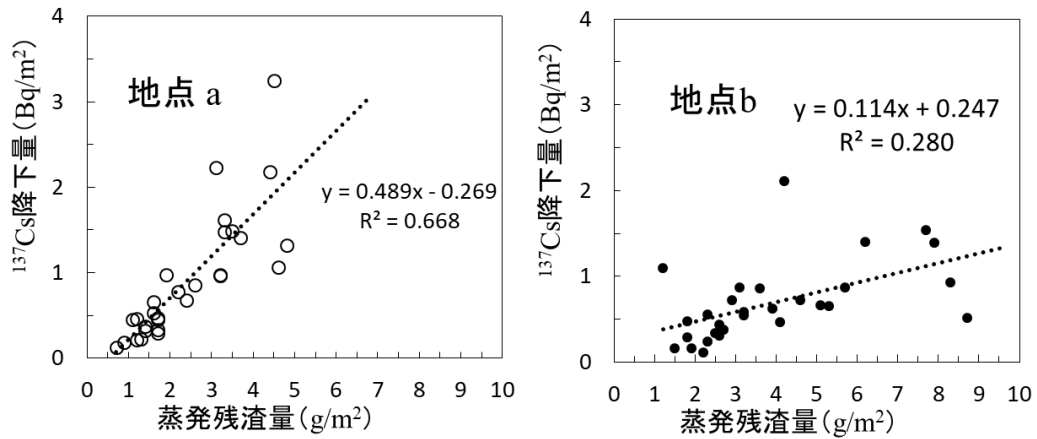


図6 2015年11月から2018年3月の期間の地点a（仙台）とb（女川）における月間の<sup>137</sup>Cs降下量と蒸発残渣中<sup>137</sup>Cs濃度の相関関係

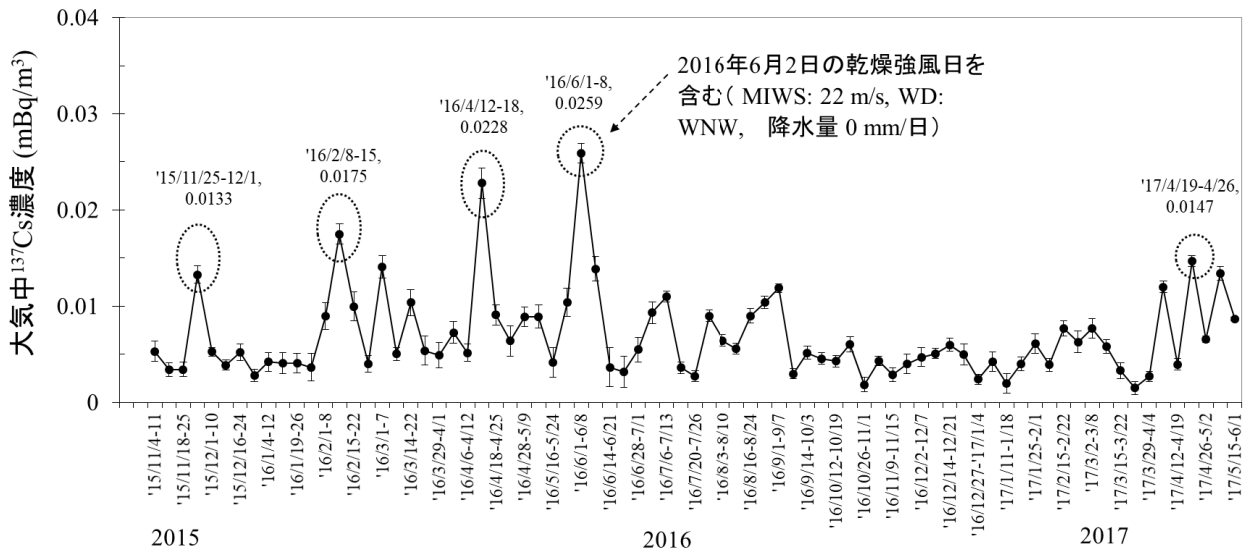


図7 2015年11月14日から2017年6月1日の期間の地点a（仙台）における、ほぼ週単位の地表大気中<sup>137</sup>Cs濃度。気象データは気象庁のウェブサイトによる[10]。高い<sup>137</sup>Cs濃度を点線の円で囲って示す。誤差棒は計数誤差を示す。MIWSとWDは、それぞれ最大瞬間風速と風向を示す。

MIWS: maximum instantaneous wind speed. WD: wind direction

が湿っていたためと考えられる。大気中浮遊塵重量濃度は大気中<sup>137</sup>Cs濃度ほど大きくは変動しなかったが、地点aでは2018年2-3月に花粉影響と考えられる上昇がみられた[12]。浮遊塵中<sup>137</sup>Cs濃度は花粉時期を除けば大気中<sup>137</sup>Cs濃度と同様の変動傾向を示し、地点aの方がbよりも高めであった。言い換えれば仙台では単位重量当たり<sup>137</sup>Cs濃度の高い浮遊塵により、単位体積当り大気中<sup>137</sup>Cs濃度も高いといえる。

### 3.3 過去の宮城県における<sup>137</sup>Csの再浮遊影響範囲

フォールアウトのような広域汚染の場合、一般に<sup>137</sup>Csなどの再浮遊影響範囲の特定は困難であるが[6, 7]、石川ら[8]及びIshikawaら[9]は、1992-1994年に宮城県内10カ所で<sup>137</sup>Cs降下量比較測定を行い、うち2カ所についてほぼ影響範囲を特定した。いずれも仙台市内のビル屋上と浄水場敷地内であるが、冬期の乾燥時期に北西季節風により再浮遊が起きたと判断され、供給源は前者では距離数十mの範囲の屋上堆積物

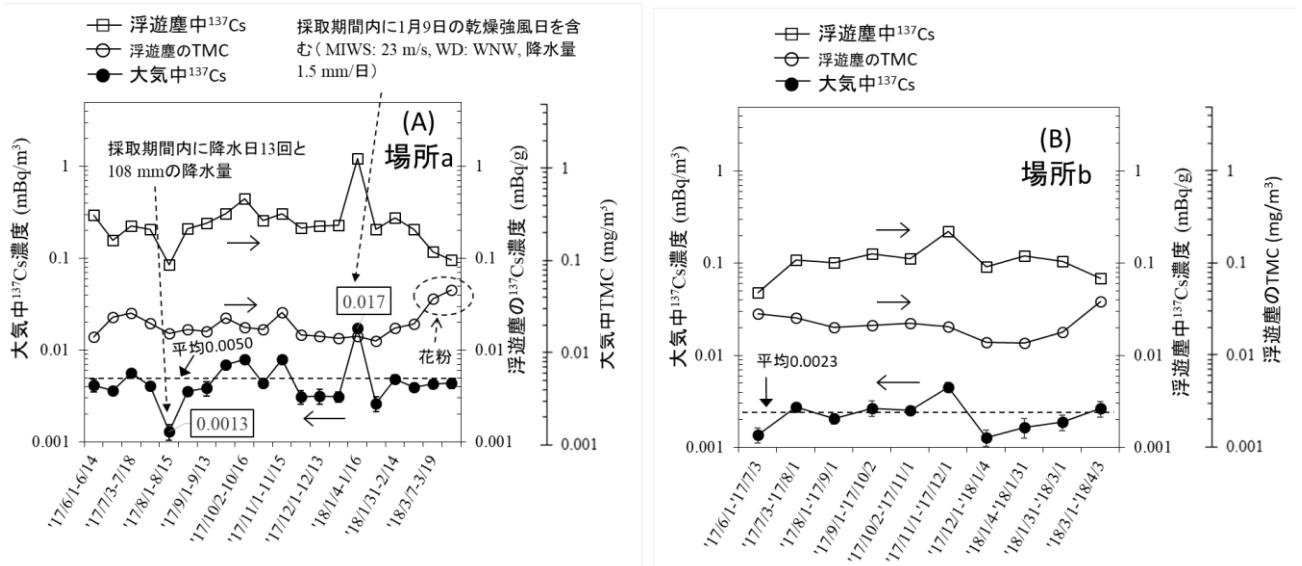


図8 2017年6月1日から2018年4月3日の期間に(A)地点a(仙台)と(B)地点b(女川)で観測された地表大気中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度、質量濃度(TMC)及び浮遊塵中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の比較。

TMC: total mass concentration

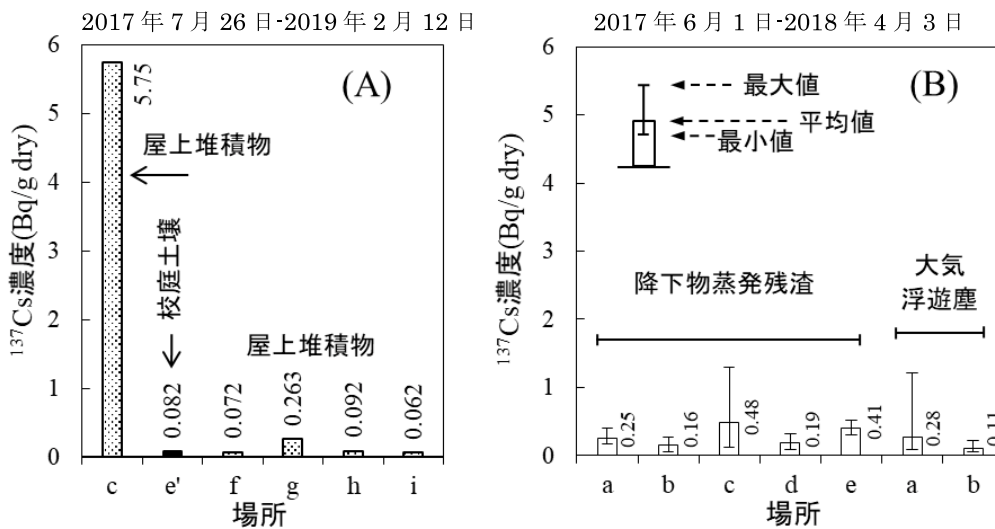


図9 (A)屋上堆積物と校庭土壌、(B)降下物蒸発残渣と大気浮遊塵における $^{137}\text{Cs}$ 濃度の比較。(A)における放射能濃度の計数誤差は4%未満であった。(B)において棒グラフの先端は算術平均値を、またその上下の横棒は最小値から最大値までの範囲を示す。試料採取期間は表1に示されている。

(土壌)、後者では隣接する距離約100-200mの学校グラウンド土壌とみなされた。前者のビル屋上堆積物には放射性セシウムが高濃度に含まれていた[8]。その他の地点における再浮遊源は不明であったが更に広範囲の土壌粒子の浮遊によるものと推定された。都市部では、地表土壌のほか周辺または遠方のビル屋上、舗装面及び道路等からの寄与も考えられる。なお、海外の例では、1987年にブラジルの都市部であるゴイアニアで起きた $^{137}\text{Cs}$ 汚染事故に関して、Pires do Rio et al. [13]は、事故後5年間の調査の結果、再浮遊影響範囲が約200m以下であったと述べている。

### 3. 4 降下物、浮遊塵及び周辺の堆積物・土壌中の<sup>137</sup>Cs濃度比較

図9(A)は、最近の降下物や浮遊塵と比較するため、2017年7月26日から2019年2月12日にかけて採取した付近の堆積物または土壌中の<sup>137</sup>Cs濃度(Bq/g)を示す。図9(B)は、2017年6月1日から2018年4月3日の間の降下物と大気浮遊塵の<sup>137</sup>Cs濃度の概略値を示す。仙台の地点a(MPERMC)では降下物平均値0.25、浮遊塵平均値0.28、a付近(f-i)の屋上堆積物0.062-0.263 Bq/gで、同程度であった。MPERMCはFDNPP事故後の2015年に建設されたため、図4(ii)に示すとおり、屋上や敷地内に多量の<sup>137</sup>Csは蓄積しておらず、堆積物中濃度も低めとなっている。ただし、既に事故以前からあった周辺のビル屋上や地表の堆積物には事故由来の<sup>134,137</sup>Csが蓄積している可能性があるが、それらの調査は今後の課題である。一方、女川の地点bでは、降下物平均値0.16と浮遊塵平均値0.11(Bq/g)は近い値であった。また、地点cでは、降下物平均値0.48(最小値0.11、最大値1.3)に対し、付近の堆積物では5.75 Bq/gと両者ともかなり高かった。この場所は使われなくなった古い校舎の屋上であり、図4(i)に示すとおり、荒れたコンクリート面に土壌等が堆積していた。恐らくFDNPP事故由来の<sup>137</sup>Csは、量の少ないこれらの土壌粒子にかなり濃縮された形で存在し、乾燥時の強風で巻き上げられて降下物採取容器に混入したものと考えられる。これは前節で述べた例と同様に、採取地点のごく近傍の屋上堆積物の影響と考えられる。地点eでは、降下物平均値0.41に対し、校庭土壌(地点e')では0.082 Bq/gと低かったが、粒子が大きく<sup>137</sup>Cs濃度の低い重い砂も含む試料をそのまま測定したためと思われる。

### 4. まとめ

2011年の福島第一原子力発電所事故後、宮城県の仙台市、女川町及び石巻市において、定期的に<sup>137</sup>Csの降下量と大気中濃度の観測を行い、時間的変動や地域差、気象的条件や周辺環境の影響などを調べた。都市部の仙台では、半都市部の女川に比べて<sup>137</sup>Cs月間降下量が時々多く、蒸発残渣中濃度も高めであった。仙台における週単位の大気測定において時々高い<sup>137</sup>Cs濃度が観測され、その原因は乾燥時強風による再浮遊と考えられた。仙台では、大気中<sup>137</sup>Cs濃度が概して女川より高めで、かつ浮遊塵の重量当り平均濃度も高かった。過去には、仙台の建物屋上の降下物測定において、高濃度<sup>137</sup>Csを含む屋上堆積物中からの影響が観測された例があり、また本研究においても女川(尾浦)の建物屋上の降下物測定において同様の現象が観測された。観測地点が屋上になくとも、周辺にビルが多い仙台のような都市では、乾燥時の強風により周辺の屋上のほか、舗装面や道路からの再浮遊影響を受けやすい可能性がある。そうだとすると再浮遊の影響範囲は周辺の都市部の拡がりの程度(数百m-数km)であろうと推定されるが、詳細については今後の更なる研究が必要である。

### 謝辞

大気浮遊塵採取において協力してくれた宮城県環境放射線監視センターの同僚諸氏に感謝します。

### 参考文献

- [1]石川陽一, 高群富貴, 木村昭裕, 佐藤健一, 榎野光永, 第17回環境放射能研究会プロシーディング(KEK-Proceedings 2016-8), pp. 262-268, 2016年3月8-10日, つくば市.  
<http://rcwww.kek.jp/enviconf/fukushima-summary.html> 2020.2.23 確認
- [2]宮城県, 女川原子力発電所環境放射能調査結果, 2011-2017年度分.  
2014-2017年分は下記URLにて閲覧可能.  
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/gentai/o-kyogikaigijyutukaikentokai.html> 2020.2.23 確認
- [3]鮑本一裕; 粒子状放射性物質の再浮遊と移流による2次汚染, 保健物理, 49, 17-28, 2014.
- [4]永岡美佳, 藤田博喜, 中野政尚, 渡辺均, 住谷秀一; 東海再処理施設周辺における東電福島第一原発事故後の降下じん中放射性物質濃度調査結果, 保健物理, 48, 104-113, 2013.
- [5]文部科学省(原子力規制庁), 放射能測定法シリーズ, No. 16, 環境試料採取法.
- [6]上野 隆, 天野 光, 小林義威; 東海村における降下物の放射化分析と<sup>137</sup>Csの降下量に占める再浮遊

の評価, 保健物理, 29, 17-22, 1994.

- [7] Y. Igarashi, Y. Inomata, M. Aoyama, K. Hirose, H. Takahashi, Y. Shinoda, N. Sugimoto, A. Shimizu, M. Chiba; Possible change in Asian dust source suggested by atmospheric anthropogenic radionuclides during the 2000s, *Atmos. Environ.*, 43, 2971-2980, 2009.
- [8] 石川陽一, 小川 武, 安藤孝志, 菊地秀夫, 嵯峨京時; 降下物中の  $^{137}\text{Cs}$  含有量の地域差に関する検討 (第2報), 宮城県原子力センター年報, 第14巻, pp.3-12, 1995.  
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kankyoho/nenpo.html> 2020. 2. 23 確認
- [9] Y. Ishikawa, Y. Mori, T. Sekine, K. Yoshihara; Local Resuspension of fallout-derived  $^{137}\text{Cs}$ , *Proceedings of 1996 SERNIA Symposium on Environmental Radioactive Nuclides Impact in Asia, Taipei, ROC-Taiwan*, pp.233-240.
- [10] 気象庁ホームページ, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> 2019.5.1 確認.
- [11] 土井妙子, 高木麻衣, 田中 敦, 菅野 宗夫, 土器屋 由紀子, 田尾 陽一, 榎本 和義; つくばと飯館における福島第一原発事故由来の大気中放射性セシウム濃度の変化と高濃度現象の要因, *Radioisotopes*, 68, 83-104, 2019.
- [12] 環境省花粉観測システム <http://kafun.taiki.go.jp/index.aspx> 2019.5.1 確認.
- [13] M. A. Pires do Rio, E. C. S. Amaral, H. G. Paretzke; The spread of  $^{137}\text{Cs}$  by resuspension of contaminated soil in the urban area of Goiania, *IAEA-TECDOC-1131*, pp.249-257, 2000.

## Temporal Variation of Fukushima-derived $^{137}\text{Cs}$ Deposition in Miyagi Prefecture and its relation to the Air Concentrations and other Environmental Factors

Yoichi Ishikawa, Kazutaka Ogasawara, Noriko Hatakeyama, Tomitaka Takamura, Yasufumi Arai, Masato Takahashi and Takashi Ando

Miyagi Prefecture Environmental Radiation Monitoring Center (MPERMC)

Deposition (rain and dry fallout) and surface air concentration of  $^{137}\text{Cs}$  were observed in several sites in Sendai and other regions in Miyagi Pref, after the accident of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant occurred in 2011. Those temporal variations and regional differences were compared among the sites considering the meteorological conditions and the surrounding environment. The monthly  $^{137}\text{Cs}$  deposition ( $\leq$  about 5 Bq/m<sup>2</sup>) at the site in Sendai, an urban area, was sometimes larger than that in Onagawa, a semi-urban area, after 2015 and the  $^{137}\text{Cs}$  concentrations ( $\leq$  about 0.7 Bq/g) in the evaporated residues of deposition samples were also higher during the same period. Weekly measurements of air concentration of  $^{137}\text{Cs}$  during Nov. 2015-May 2017 in Sendai also showed occasionally high  $^{137}\text{Cs}$  values ( $\leq$  about 0.026 mBq/m<sup>3</sup>). The reason is likely due to resuspension by strong winds in dry seasons in the urban area. The  $^{137}\text{Cs}$  concentration in air during June 2017 - Mar. 2018 is mostly higher in Sendai ( $\sim$ 0.005 mBq/m<sup>3</sup> on average) than in Onagawa ( $\sim$ 0.002 mBq/m<sup>3</sup> on average), and the average  $^{137}\text{Cs}$  concentration per unit weight of airborne dust was also higher. The reason for the relatively higher concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in fallout evaporation residues and airborne dust in Sendai than in Onagawa is presumably due to the urban-specific environment with few green tracts of land and with buildings, pavement surfaces, and roads. At one of the five fallout observation sites, on the roof of a building, local  $^{137}\text{Cs}$  resuspension from very nearby locations was observed.